

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ**

Интерес к задачам управления структурой и свойствами отливок сложной конфигурации с помощью компьютерной техники в последнее время существенно возрос. Использование современных программных пакетов для моделирования литейных процессов и визуализации результатов расчетов, систем автоматизированного проектирования позволяет оценить качество отливки уже на стадии проектирования, прогнозировать появление возможных дефектов и вносить в технологический процесс соответствующие изменения, обеспечивающие получение гарантированного качества отливки.

Большинство специалистов предприятий отмечают следующие позитивные особенности применения САПР:

- повышение производительности труда конструкторов и технологов в два-три раза;

- повышение уровня качества конструкторско-технологических работ;

- сокращение сроков технологической подготовки производства;

- высвобождение конструкторов и технологов от непроизводительных работ;

- расширение возможностей проектирования и изготовления сложного оборудования;

- создание единой унифицированной конструкторско-технологической базы данных предприятия;

- повышение эффективности взаимодействия различных подразделений;

- создание конкурентоспособной продукции;

- улучшение финансового положения предприятия.

В настоящее время существует большое количество САПР различной сложности и назначения, как универсальных, так и прикладных, разработанных для конкретного производства. Универсальные САПР, такие как AutoCAD, Pro/Engineer, Unigraphics, CATIA и другие, представляют собой мощные средства для работы с чертежами, визуализации трехмерных объектов, но в полной мере не учитывают особенности технологических процессов кон-

кретного производства. Они также не автоматизируют решение большинства трудоемких задач, встающих перед конструктором и технологом при наладке нового производства [1].

Этих недостатков не имеют прикладные САПР, разработанные для конкретного производства. Для автоматизации проектирования используются прикладные системы, построенные на базе универсальных САПР (либо использующие их графическое и вычислительное ядро) и дополненные специализированными модулями. В некоторых случаях дополнительные модули создают сами разработчики универсальных САПР, в других — специалисты научно-исследовательских лабораторий, фирм, вузов, НИИ, имеющие необходимую научную базу для решения задач автоматизации производства. Преимущества собственных разработок очевидны:

- наличие исходных текстов программ для оперативного и гибкого изменения программного кода;

- наличие описаний форматов файлов, содержащих обрабатываемые и выходные данные, что позволяет создавать и подключать дополнительные модули с новыми возможностями;

- цена программы значительно ниже имеющихся аналогов.

В литейном производстве, несмотря на сложность и многообразие существующих способов изготовления отливок, центральное место занимает проблема управления процессами затвердевания и охлаждения отливки в форме. Однако точное решение задачи затвердевания сложных отливок аналитическими методами не представляется возможным, что связано с нелинейностью граничных условий, переменностью теплофизических свойств отливки и формы, конечными размерами тел [2].

Из приближенных методов расчета отливок неправильной конфигурации можно отметить метод эквивалентных отливок и метод расчленения отливки на элементы простой формы [2]. Однако независимый расчет простых элементов не дает необходимой точности, погрешность в ряде случаев может достигать сотен процентов. Для большего приближения полученных этим методом значений используют эмпирические зависимости, недостатком которых является их ограниченность в применении, т. е. они получены для конкретных случаев (определенных сплавов, интервалов температур, стационарных условий теплопроводности и т. д.). Метод эквивалентных отливок дает тем большую погрешность, чем больше геометрия сложной отливки отличается от геометрии эквивалентного тела [2].

В настоящей работе представлена методика моделирования процесса затвердевания отливки сложной геометрии в полости литейной формы, сочетающая достоинства метода расчленения сложной отливки на элементы простой формы, но при этом позволяющая рассматривать отливку как единую целую систему для расчета температурных полей.

Для моделирования геометрии отливки был использован метод 3D-конструирования, который основан на идее «сборки» модели из набора заранее определенных базовых геометрических элементов (примитивов) [3]. Для этого был разработан файловый формат, который включает секцию описания геометрических параметров примитивов и служит стандартом представления графических объектов в математической форме. Программа считывает из файла заданные примитивы и создает единый массив данных, который содержит информацию о расположении всех элементов литейной технологии.

Считывая примитив, программа (с заданным шагом разбиения пространства  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ ) обрабатывает участок, содержащий этот примитив, и помещает в общий создаваемый массив индексируемые параметры (0, 1, 2 и т. д.), которые характеризуют наличие либо отсутствие в данной точке соответствующего примитива. Например, если точка с координатами  $(x, y, z)$  принадлежит одному из базовых примитивов отливки, то значение индекса массива в этой точке становится равным единице; в противном случае — нулю. После обработки первого примитива процедура повторяется до того момента, пока не будет считан последний примитив из файла описания. Затем весь созданный массив помещается в новый файл, который готов к дальнейшей обработке.

По такой же схеме обрабатываются базовые примитивы для стержней, холодильников и других элементов литейной формы.

На основе полученной геометрической модели рассчитывали температуру в каждой точке системы «отливка—форма» в различные моменты времени, задаваясь конкретными начальными условиями для каждого типа элемента литейной формы, с учетом теплофизических характеристик металла и материала формы, стержней. Шаг разбиения по всем трем координатам выбирался в зависимости от требуемой точности результатов расчета в пределах 0,01—1 мм.

Расчет процесса затвердевания отливок проводится на основе уравнения теплопроводности, в котором скрытая теплота кристаллизации учитывалась введением эффективной удельной теплоемкости  $c(T)$  в интервале  $T_L - T_S$ :

$$c(T) = \begin{cases} c' & \text{при } T > T_L; \\ \frac{L}{T_L - T_S} + c'' & \text{при } T_S \leq T \leq T_L; \\ c & \text{при } T > T_S, \end{cases}$$

где  $c'$ ,  $c$  — удельная теплоемкость металла в жидком и твердом состоянии;  $c'' = (c' + c)/2$  — удельная теплоемкость в пределах двухфазной зоны;  $L$  — удельная теплота кристаллизации при затвердевании металла в интервале температур.

Значения массива температур, рассчитанных для различных сечений, передаются в модуль графического преобразования для вывода полученной информации на экран с использованием возможностей цветовой графики.

Разработанная система реализована на базе объектно-ориентированного языка, высокого уровня Паскаль в среде программирования Delphi. Функцию графического ядра системы выполняет пакет AutoCAD2000. Для автоматизации работ по созданию и редактированию чертежей отливки дополнительно разработаны программные модули на языке AutoLISP с использованием встроенных графических функций в среде AutoCAD R14. Взаимодействие графического ядра системы и разработанных модулей расчета и визуализации процесса затвердевания отливки осуществляется с помощью системы буферных файлов передачи данных. Исходные данные, необходимые для создания электронного варианта чертежа отливки, записываются в автоматическом режиме в файлы текстового формата, после чего производится их считывание LISP-модулями. Запуск на выполнение LISP-программ осуществляется установкой в командной строке AutoCADa специального сообщения, соответствующего имени конкретного модуля. При создании электронного варианта чертежа отливки в системе предусмотрена возможность поддержки форматов и спецификаций международных стандартов DIN, ISO, ANSI и JIS, а также сохранения чертежа в графических форматах WMF, SAT, STL, EPS, DXX, BMP, DXF, 3DS, DWF, DWG.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Е. П. Объектно-ориентированное проектирование САПР РТК // Докл. Междунар. конф. Новые информационные технологии в науке и производстве. — Мн. — 1998. — С. 9—10.
2. Есьман Р. И., Бахмат В. А., Королев В. М. Теплофизика литейных процессов. — Мн.: Беларуская навука. — 1998. — 144 с.

3. *Dr. Sadhu Singh*. Computer aided design and manufacturing. Naryana, Delhi. — 1998. — 596 с.

4. *Ши Д.* Численные методы в задачах теплообмена: Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. — 544 с.

5. *Баландин Г. Ф.* Основы теории формирования отливки: В 2 ч. — М.: Машиностроение, 1979. — 335 с.

УДК 669.05.054.79

Н. А. СВИДУНОВИЧ, докт. техн. наук,  
А. Н. КИЗИМОВ (БГТУ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИЙ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ БРИКЕТА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В КАЧЕСТВЕ ШИХТОВОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ВЫПЛАВКЕ ЧУГУНА**

В последние годы вопрос наиболее полного использования отходов производства и потребления стал важнейшим в экономической политике индустриально развитых стран. Вторичные ресурсы — относительно дешевое сырье. Поэтому выгодно, целесообразно и экономически необходимо существенное расширение их использования. Научной основой ресурсосберегающих тенденций современной экономики являются идеи технологически замкнутого кругооборота использования природного вещества и становления на этой основе безотходных производств.

При обработке изделий из черных сплавов в значительном количестве образуются стружка, отходы чугунной дробы («колотая» дробь) от дробеметных камер и барабанов, окалина после очистки деталей, прошедших термообработку, металлизированная пыль от обдирочных станков и электродуговых печей, а также металлизированные шламы от шлифовальных станков и др. Если в настоящее время чугунную и стальную стружку используют в виде брикетов для выплавки чугуна и стали, то остальные металлсодержащие отходы не считают шихтовым материалом и вывозят на свалки, что неэффективно и отрицательно сказывается на состоянии окружающей среды. Анализ работы многочисленных литейных цехов показывает, что существующая технология брикетирования стружки холодным способом на гидропрессах не позволяет использовать, кроме стружки, другие металлсодержащие отходы, а неудовлетворительное качество брикетов — низкая плотность и